



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 198 56 467 A 1**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**A 61 N 5/10**  
A 61 B 5/08  
A 61 B 6/03

(21) Aktenzeichen: 198 56 467.8  
(22) Anmeldetag: 26. 11. 1998  
(43) Offenlegungstag: 31. 5. 2000

(71) Anmelder:  
Stuschke, Martin, Prof. Dr., 14129 Berlin, DE;  
Beinert, Thomas, Dr., 10717 Berlin, DE

(74) Vertreter:  
Wehlan, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
10315 Berlin

(72) Erfinder:  
gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Vorrichtung zur geometrisch standardisierten Bestrahlung umschriebener intrapulmonaler Tumoren bei definierter Position der atembeweglichen Thoraxstrukturen

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur standardisierten Bestrahlung von umschriebenen intrathorakalen Tumoren in Inspiration oder einer anderen definierten Atemlage. Die Erfindung beruht auf Impulsgebern zur Bestimmung der Position von atembeweglichen Thoraxstrukturen zum raumfesten Koordinatensystem oder den Bestrahlungsfeldern, deren Signale mit den während der Bestrahlungsplanung festgesetzten Zielgrößen am Strahlentherapiegerät vor oder während der Bestrahlung abgeglichen werden.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur standardisierten Bestrahlung von umschriebenen intrathorakalen Tumoren in Inspiration oder einer anderen definierten Atemlage sowie ein Verfahren zur Standardisierung der Bestrahlung. Die Vorrichtung besteht aus Impulsgebern zur Bestimmung der Körperkontur, der Position des Zwerchfells und der Thoraxorgane, der intrathorakaler Raumforderungen, des inspiratorischen thorakalen Gasvolumens, des intrathorakalen Druckes oder Druckes am Mund, deren Signale am Strahlentherapiegerät vor oder während der Bestrahlung abgeglichen werden.

Normalerweise werden intrathorakale Tumoren bei flacher Spontanatmung ohne Unterbrechung der Atmung bestrahlt. Die bekannten Prozeduren bei der Bestrahlung von intrathorakalen Tumoren in definierter Atemlage bestehen in der Aufforderung des Patienten zur Inspiration ohne Kontrolle der tatsächlich durchgeführten Inspiration (Willett et al. Cancer 69, 1232-1237, 1987) oder in der mit dem Atemzyklus synchronisierten Bestrahlung während eines Teils des Atemzyklus ohne Beeinflussung der Spontanatmung. Hierbei bewegt sich der Thorax während der Bestrahlung, ohne daß eine tiefe Inspiration erreicht wird. Der Atemzyklus wird dabei durch Messung der Bewegung der Lufströmung am Mund bestimmt (Tada et al. Radiology 207, 779-783, 1998; Ohara et al. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 17, 853-857, 1989). Die Patentschriften US 5.764,723 und WO 98/16151 (PCT) beschreiben ein Radiotherapiegerät, welches an die Herz- und Atemtätigkeit des Patienten gekoppelt ist. In der europäischen Patentschrift EP 377764 und im US-Patent 5,067,494 werden Therapie- und Untersuchungsgeräte beschrieben, bei denen eine exakte Erfassung der Atemtätigkeit des Patienten, insbesondere eine Erfassung des Atemvolumens, sichergestellt wird. Der Patient atmet durch ein Spirometer, das einen Meßumformer für die Messung von Volumina und einen Geber für die Erzeugung von Triggersignalen aufweist. Ferner kann im Spirometer ein Verschluß für den Atemweg vorgesehen sein, der derart gesteuert ist, daß der Atemfluß beim Erreichen eines bestimmten Sollwertes unterbrochen wird. Der Nachteil der hiermit durchführbaren Technik ist, daß nur das intrathorakale Gasvolumen oder die Position im Atemzyklus, nicht aber die Anordnung der Thoraxorgane oder des Tumors zum Bestrahlungsfeld selbst zur Auslösung der Bestrahlung führen.

Abweichungen der Lage der Thoraxorgane vor oder während der Bestrahlung zu der Position zum Zeitpunkt der Bestrahlungsplanung vor Beginn der Strahlentherapie, z. B. durch unterschiedliche Anspannung der äußeren Atemmuskulatur (Atmung gegen den Verschluß im Spirometer) können zu einer deutlichen Dosisabweichung im Planungsvolumen führen und damit die Heilungschancen des Patienten gravierend beeinflussen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Technik und eine Verfahrensweise zur Bestrahlung intrathorakaler Tumoren in Inspiration oder einer anderen definierten Atemlage zu entwickeln, mit der sich die Nachteile der bekannten Methoden und Vorrichtungen beseitigen lassen. Die Aufgabe wurde durch eine Vorrichtung zur geometrisch standardisierten Bestrahlung umschriebener intrapulmonaler Tumoren in Inspiration oder einer anderen definierten Atemlage gelöst. Die erfindungsgemäße Vorrichtung besteht aus Impulsgebern zur Bestimmung der Körperkontur und/oder Position des Zwerchfells und/oder Position der Thoraxorgane oder intrathorakaler Raumforderungen und/oder der Bestimmung des inspiratorischen thorakalen Druckes oder Druckes am Mund, deren Signale mittels definierter Algo-

rithmen mit den während der Bestrahlungsplanung festgesetzten Zielgrößen am Strahlentherapiegerät vor und/oder während der Bestrahlung abgeglichen werden.

Mindestens ein Impulsgeber mißt dabei die Position eines anatomischen Fixpunktes oder von Organgrenzen absolut und/oder relativ zum Isozentrum des Strahlentherapiegerätes oder zum Bestrahlungsfeld selbst. Stimmen die Soll- und Istwerte innerhalb definierter Toleranzgrenzen überein, so wird mit der Bestrahlung begonnen bzw. diese fortgesetzt. Liegen die Werte außerhalb der definierten Toleranzgrenzen, wird die Bestrahlung unterbrochen oder nicht begonnen. Abweichungen zum Sollzustand, die auf einen unterschiedlichen Inspirationsgrad zurückzuführen sind, werden optional dem Patienten durch Signale angezeigt. Durch diese Signale (etwa durch ein optisches oder akustisches Signal oder nach Aufforderung durch den Operator) wird dem Patienten angezeigt, seinen Inspirationsgrad oder intrathorakales Gasvolumen zu verändern, bis die Werte übereinstimmen. Falls das intrathorakale Gasvolumen während der Bestrahlung durch eine Maschine kontrolliert wird, wird die Übereinstimmung von Soll- und Zielgrößen der Thoraxexkursion über diese Maschine oder diese Maschine regulierende Verfahren erreicht. Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, daß auf diese Weise während der Bestrahlung die Zielgrößen und damit die intrathorakale Geometrie mit hoher Reproduzierbarkeit konstant gehalten werden können. Bei Abweichungen, die auf die Lagerung oder Positionierung des Patienten zurückzuführen sind, werden Lagerung oder Positionierung korrigiert und danach mit einem neuen Atemzyklus mit dem Ziel der Bestrahlung in definierter Atemlage begonnen.

Impulsgeber zur Erfassung der äußeren Kontur des Thorax des Patienten am Strahlentherapiegerät in Bestrahlungsposition sind z. B. Infrarotkameras, Video-Kameras und/oder Abstandsmesser (z. B. mechanisch, optisch, auf Schallwellen oder anderen physikalischen Verfahren beruhend). Impulsgeber zur Erfassung der Position des Zwerchfells, intrathorakaler Raumforderungen und/oder der intrathorakalen Organe sind z. B. ein Bildempfänger, der mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung unter Echtzeitbedingungen Feldkontrollbilder am Strahlentherapiegerät liefert, Röntgen-Durchleuchtungsanlagen und/oder Computer-Tomographen (CT) und/oder Kernspintomographen im Bestrahlungsraum, Spirometer und/oder Messegeräte zur Erfassung des intrathorakalen bzw. am Mund oder am Tubus anliegenden Luftdrucks bzw. Verschlußdruckes.

Zielgröße ist die Position von Thoraxorganen und/oder des Tumors zum Zeitpunkt der Bestrahlungsplanung zum Bestrahlungsgerät, wie sie bei der Planung festgelegt und z. B. in Form eines Planungs-CT's festgelegt wurde. Bestrahlt wird, wenn die oben genannten Regelgrößen mit den Zielgrößen innerhalb eines zum Planungszeitpunkt definierten Toleranzbereiches übereinstimmen. Jegliche Algorithmen bzw. EDV-gestützte Verfahren, die den oben genannten charakteristischen Abgleich zwischen Ziel- und Sollgrößen realisieren, sind von der erfinderischen Lösung erfaßt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Standardisierung der Bestrahlung umschriebener intrapulmonaler Tumoren in Inspiration oder einer anderen definierten Atemlage mit Hilfe der beschriebenen Vorrichtung besteht darin, daß die Signale der Impulsgeber zum Beginn oder zum Beenden der Bestrahlung dergestalt Verwendung finden, daß bei Übereinstimmung der Werte innerhalb definierter Toleranzgrenzen mit der Bestrahlung begonnen bzw. diese fortgesetzt und bei Nichtübereinstimmung der Werte in definierten Toleranzgrenzen die Bestrahlung unterbrochen oder noch nicht begonnen wird.

Die erfindungsgemäße Verfahrensweise zur Standardisie-

rung der Bestrahlungstechnik besteht darin,

- a) daß die Übereinstimmung der Position von atembeweglichen Thoraxstrukturen mit der Position bei der Bestrahlungsplanung zum raumfesten Koordinatensystem oder den Bestrahlungsfeldern Auslöser für die Bestrahlung oder die Voraussetzung ihrer Fortsetzung ist. Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, daß die erfundungsgemäße Vorrichtung die Strahlentherapie intrathorakaler Tumoren mit sehr guter Genauigkeit in der Reproduktion der Position der Thoraxorgane zu den Strahlenfeldern ermöglicht;
- b) nur bei definierter Atemlage z. B. in Inspiration zu bestrahlen. Während der Inspiration befindet sich das Lungengewebe in einem ausgedehnteren Zustand. Die Erfahrung bewirkt, daß bei vielen intrathorakalen Tumoren das bestrahlte Lungenpartialvolumen im Vergleich zum Gesamtvolumen deutlich reduziert werden kann, und die Dosisvolumenhistogramme der Lungen günstiger verlaufen als in Atemmittellage, wodurch das Risiko von akuten wie auch späten Strahlenschäden in der Lunge sinkt.

Eine spezielle Ausführungsform der Erfahrung bezieht sich auf Patienten, deren Mitarbeit etwa durch respiratorische Insuffizienz eingeschränkt ist. In diesen Fällen wird das intrathorakale Gasvolumen durch eine Vorrichtung reproduziert, die die Atmung steuert oder unterstützt. Die Strahlentherapie erfolgt dann in tiefer Inspiration.

Das Wesen der Erfahrung liegt in einer Kombination bekannter und neuer Elemente sowie neuer Lösungswege, die sich gegenseitig beeinflussen und in ihrer neuen Gesamtwirkung einen Gebrauchsvorteil und den erstrebten Erfolg ergeben, der darin liegt, daß sich die Dosis-Volumenbelastung der Lunge gegenüber dem bekannten Stand deutlich senken läßt und damit das Risiko von akuten wie auch späten Strahlenschäden in der Lunge gesenkt werden kann.

Die Erfahrung wird anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert, ohne auf dieses Beispiel beschränkt zu sein.

#### Ausführungsbeispiel

Der Patient atmet in Bestrahlungsposition auf dem Patiententisch durch ein Spirometer (offenes System), das mit einem volumetrisch gesteuerten Ventil ausgerüstet ist. Die Kopplung der Atemwege an das Spirometer erfolgt durch ein Mundstück (Verschluß der Nase durch eine Nasenklemme) oder durch eine Maske. Nach Durchlaufen des unteren Umkehrpunktes der Atemschleife wird das Ventil nach Initialisierung bei einem frei wählbaren Luftvolumen für eine frei wählbare Zeitspanne geschlossen. Der Patient wird jeweils vor der Bestrahlung trainiert, bei Ventilschluß den Atem anzuhalten, ohne am Ventil/Mundstück einen Über-/Unterdruck aufzubauen. Zu Beginn der Verschlußzeit des Ventils wird die Abweichung der Lage des Zwerchfells und der Thoraxwand vom Sollwert bei Bestrahlungsplanung mit Hilfe eines Feldkontrollbildes, das elektronisch mit dem abgespeicherten Bild bei Bestrahlungsplanung (Sollzustand) verglichen wird, bestimmt. Das Feldkontrollbild wird mit Hilfe eines geeigneten Bildempfängers und elektronischer Datenverarbeitung unter Echtzeitbedingungen während eines kleinen Teils der gesamten Bestrahlungszeit für das jeweilige Feld am Beginn der Bestrahlung generiert. Stimmen Soll- und Istwert innerhalb vordefinierter Fehlergrenzen überein, wird die Bestrahlung des entsprechenden Feldes durchgeführt. Bei Abweichungen, die auf Anspannungen der Atemmuskulatur zurückzuführen sind, wird nach einer Ruhephase mit einem neuen Atemzyklus bis zum Atem-

wegsverschluß in Inspiration begonnen. Sind auch diesmal Abweichungen vorhanden, wird bei einem dritten Versuch das Ventil bei einem entsprechend der Abweichungen erhöhten oder vermindernden intrathorakalen Volumen geschlossen. Bei der Planung wurde zuvor der Einfluß des intrathorakalen Luftvolumens auf die Position der Thoraxorgane und des Tumors zum Bestrahlungsfeld bestimmt.

Fig. 1 zeigt schematisch die Wechselwirkung zwischen Patient, Impulsgeber i, dem Algorithmus zur Überprüfung auf Übereinstimmung innerhalb der vorgegebenen Toleranzen und gegebenenfalls einem Signal an den Patienten und andererseits dem Sollzustand i bei der Therapieplanung, dem Algorithmus zur Überprüfung auf Übereinstimmung innerhalb der vorgegebenen Toleranzen, einem Signal zum Beginn oder zur Fortsetzung der Strahlentherapie und damit zur Steuerung des Strahlentherapiegerätes.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur geometrisch standardisierten Bestrahlung umschriebener intrapulmonaler Tumoren in definierter Atemlage z. B. Inspiration, bestehend aus Impulsgebern zur Bestimmung der Position von atembeweglichen Thoraxstrukturen und/oder atembeweglichen Körperstrukturen zum raumfesten Koordinaten-system oder den Bestrahlungsfeldern, deren Signale im Strahlentherapierraum mittels definierter Algorithmen mit den zuvor während der Bestrahlungsplanung festgesetzten Zielgrößen am Strahlentherapiegerät (vor oder während der Bestrahlung) abgeglichen werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie Impulsgeber zur Bestimmung der Körperkontur und/oder Position des Zwerchfells und/oder Position der Thoraxorgane und/oder intrathorakaler Raumforderungen und/oder Bestimmung des inspiratorischen thorakalen Druckes oder Druckes am Mund enthält.
3. Verfahren zur Standardisierung der Bestrahlung umschriebener intrapulmonaler Tumoren in definierter Atemlage z. B. Inspiration mit Hilfe der Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Signale der Impulsgeber zum Beginn, zur Fortführung oder zum Beenden der Bestrahlung dergestalt Verwendung finden, daß bei Übereinstimmung der Werte mit den vordefinierten Werten innerhalb definierter Toleranzgrenzen mit der Bestrahlung begonnen bzw. diese fortgesetzt wird, und bei Nichtübereinstimmung der Werte innerhalb definierter Toleranzgrenzen die Bestrahlung unterbrochen oder nicht begonnen wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

Figur 1

